

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

09/373544

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10242510 A**

(43) Date of publication of application: **11.09.98**

(51) Int. Cl. **H01L 33/00**

(21) Application number: **09046337**

(71) Applicant: **SHARP CORP**

(22) Date of filing: **28.02.97**

(72) Inventor: **HOSOBANE HIROYUKI**

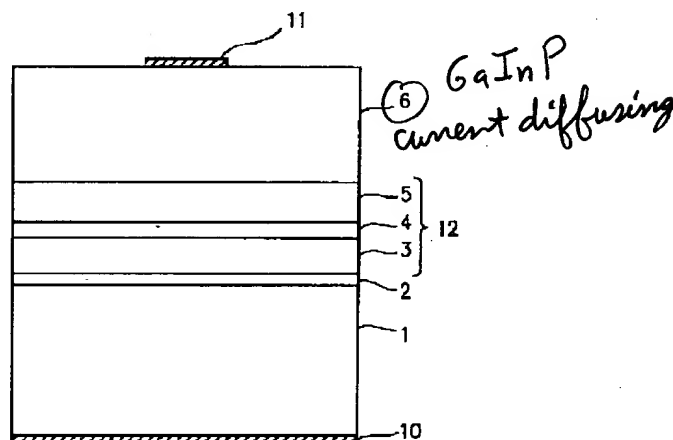
**(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT  
AND ITS MANUFACTURE**

**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the luminous efficiency and reliability of a semiconductor light emitting element, by correcting the lattice distortion of a  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $0 < x < 1$ ) current diffusing layer by forming the current diffusing layer on a laminated semiconductor structure.

**SOLUTION:** After an n-type GaAs buffer layer 2 is formed on an n-type GaAs substrate 1, a laminated semiconductor structure 12 composed of an n-type AlGaInP clad layer 3, an AlGaInP active layer 4, and a p-type AlGaInP clad layer 5 is formed on the buffer layer 2, and a p-type  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $0 < x < 1$ ) current diffusing layer 6 is formed on the structure 12. A p-type electrode 11 is provided on the central part of the layer 6, and an n-type electrode 10 is provided on the whole lower surface of the substrate 1. Therefore, the luminous efficiency and reliability of a semiconductor light emitting element thus constituted can be improved, because the crystal defect in the current diffusing layer 6 can be reduced and, at the same time, the crystal defect resulting from the dislocation of the active layer 4, etc., constituting the light emitting section of the element can be reduced.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-242510

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

H01L 33/00

識別記号

FI

H01L 33/00

B

審査請求 未請求 請求項の数17 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平9-46337

(22) 出願日

平成9年(1997) 2月28日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 細羽 弘之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

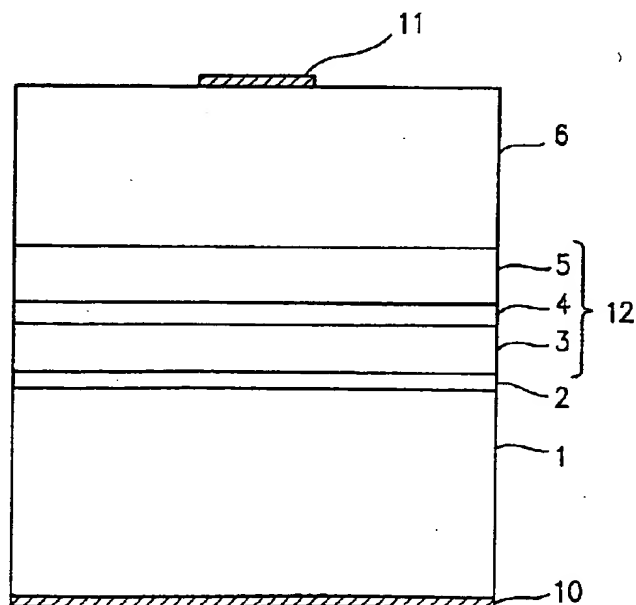
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電流拡散層の格子歪みを改善して発光効率および信頼性の高い半導体発光素子を得る。

【解決手段】 GaAs基板1上にAlGaInP、AlGaAsまたはInGaAs等からなる第1クラッド層3、活性層4および第2クラッド層5を少なくとも含む半導体積層構造12を形成し、その上にGa<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>P (0 < x < 1) 電流拡散層6を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造上に第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) からなる電流拡散層が設けられている半導体発光素子。

【請求項2】 前記電流拡散層の $In$ 組成比 $x$ が $0 < x < 0.49$ にしてある請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記電流拡散層の $In$ 組成比 $x$ が $0 < x < 0.27$ にしてある請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造上に、その $In$ 組成比 $x$ を層厚方向に向かって変化させた第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) からなる電流拡散層が設けられている半導体発光素子。

【請求項5】 前記電流拡散層の変化させた $In$ 組成比 $x$ が $0 < x < 0.49$ にしてある請求項4に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記電流拡散層の変化させた $In$ 組成比 $x$ が $0 < x < 0.27$ にしてある請求項4に記載の半導体発光素子。

【請求項7】 前記活性層が $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )、 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ ) または $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ ) からなる請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項8】 前記基板、前記半導体積層構造および前記電流拡散層を挟んで一対の電極が設けられ、該電流拡散層を間に挟んで該電流拡散層側の電極と対向するように、電流阻止層が設けられている請求項1乃至7のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項9】 前記電流拡散層側の電極が該電流拡散層の中央部上に設けられ、該電極の非形成部から光を取り出すようになっている請求項8に記載の半導体発光素子。

【請求項10】 前記電流拡散層側の電極が該電流拡散層の中央部上を取り囲むように設けられ、該電極の非形成部から光を取り出すようになっている請求項8に記載の半導体発光素子。

【請求項11】 前記電流阻止層が $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ ) からなる請求項9または10に記載の半導体発光素子。

【請求項12】 前記電流阻止層が $Al$ を含む化合物半導体からなる請求項9または10に記載の半導体発光素子。

【請求項13】 前記電流阻止層が $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ ) または $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0$

$\leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$ ) からなる請求項12に記載の半導体発光素子。

【請求項14】 基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造の上に一部重畳して第1導電型の電流阻止層が設けられ、該電流阻止層の形成部および非形成部にわたって第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) からなる電流拡散層が設けられ、該電流拡散層を間に介し、かつ、該電流阻止層と対向するように一方の電極が設けられ、該基板側に他方の電極が設けられている半導体発光素子を製造する方法であって、

該基板上に該半導体積層構造を形成し、該半導体積層構造上に $Al$ を含まない材料からなる保護層を間に介して $Al$ を含む化合物半導体からなる電流阻止層形成用の層を形成する工程と、  
該電流阻止層形成用の層と該保護層とを選択的にエッチングして該半導体積層構造の上に一部重畳するように電流阻止層を残す工程とを含む半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】 前記エッチングの際に、前記電流阻止層が前記半導体積層構造の中央部上に残るようにエッチングを行う請求項14に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】 前記エッチングの際に、前記電流阻止層が前記半導体積層構造の中央部上を取り囲んで残るようにエッチングを行う請求項14に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項17】 前記電流阻止層として $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ ) 層または $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$ ) 層を形成する請求項14乃至16のいずれか一つに記載の半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば発光ダイオード等の半導体発光素子およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、 $AlGaInP$ 系半導体材料を用いた半導体発光素子は、可視領域用の発光素子として用いられている。その理由は、 $AlGaInP$ 系材料においては、 $GaAs$ 基板と格子整合が可能であること、 $I$ - $III$ - $V$ 族化合物半導体の中で最も直接遷移のバンドギャップが大きいこと等の特徴を有しているためである。特に、発光ダイオードでは、 $550nm$ から $690nm$ の範囲で直接遷移型の発光を行うため、高い発光効率を得ることができる。

【0003】 しかし、 $AlGaInP$ 系材料を用いた面発光型の従来の半導体発光素子には、光の取り出し効率の点で問題点があった。この問題点について、図12に

示す発光ダイオードを用いて説明する。この発光ダイオードは、 $n$ 型GaAs基板121上に、 $n$ 型AlGaInP第1クラッド層123、GaInP活性層124および $p$ 型AlGaInP第2クラッド層125からなる半導体積層構造1212が設けられている。 $p$ 型クラッド層125の中央部上には $p$ 型電極1211が設けられ、 $n$ 型基板121側には全面に $n$ 型電極1210が設けられている。発光部であるGaInP活性層124で発生した光は、 $p$ 型電極1211側の $p$ 型電極1211が形成されていない部分から取り出される。この発光ダイオードにおいて、発光効率を高くするためには、 $p$ 型電極1211から注入された電流がGaInP活性層124全体に広がる必要がある。しかし、 $p$ 型AlGaInPクラッド層125の抵抗率が大きいので、 $p$ 型クラッド層125内で電流が少ししか広がらず、GaInP活性層124における $p$ 型電極1211の直下の部分でしか発光が得られなかった。このため、図12に示したような従来の発光ダイオードでは、上面方向への光の取り出し効率が非常に小さくなってしまっていた。

【0004】この問題点に対し、GaP電流拡散層を設けて電流をより広い部分に広げた半導体発光素子が、例えばRobert M. FletcherらによりUnited States Patent 5,008,718に提案されている。

【0005】以下に、提案された半導体発光素子について、図13を用いて説明する。この半導体発光素子は発光ダイオードであり、 $n$ 型GaAs基板131上に、 $n$ 型AlGaInP第1クラッド層133、GaInP活性層134および $p$ 型AlGaInP第2クラッド層135からなる半導体積層構造1312が設けられ、その上に $p$ 型GaP電流拡散層136が設けられている。 $p$ 型GaP電流拡散層136の中央部上には $p$ 型電極1311が設けられ、 $n$ 型基板131側には全面に $n$ 型電極1310が設けられている。この半導体発光素子では、 $p$ 型GaP電流拡散層136Cの抵抗率が $p$ 型AlGaInPクラッド層135の抵抗率よりも小さく、 $p$ 型電流拡散層136内で電流が広がるため、GaInP活性層124における広い範囲で発光が得られ、発光効率が向上する。また、活性層134で発生した光は $p$ 型電極1311側から取り出されるが、 $p$ 型GaP電流拡散層136のバンドギャップが $p$ 型AlGaInPクラッド層135のバンドギャップよりも大きく、発光した光が $p$ 型電流拡散層136で吸収されずに透過するため、発光効率を高くすることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図13に示した従来の半導体発光素子においては、電流拡散層としてGaP層を用いているため、以下のような問題点があった。

【0007】第1の問題点は、GaP層では良好な結晶

性が得られないことである。GaP層は、その結晶中におけるGa原子とP原子との結合が強いため、Ga原子が成長表面上で拡散（マイグレーション）しにくく、良好な層状成長でなく島状成長となり、結晶欠陥が発生しやすい原因となっている。これらの結晶欠陥によりGaP層の結晶性が低下し、抵抗率が大きくなったりするため、半導体発光素子の発光効率および信頼性の低下の要因となっていた。

【0008】第2の問題点は、GaP層の格子定数と、GaAs基板およびそれと格子整合したAlGaInP系半導体層の格子定数とが大きく異なることである。GaAsの格子定数は5.65オングストロームであるのに対し、GaPの格子定数は5.45オングストロームであり、-3.54%の格子不整合が発生する。この格子不整合の発生は、上記第1の問題点を引き起こす要因ともなり、GaP結晶中に結晶欠陥が発生して結晶性が低下する。これによっても、半導体発光素子の発光効率および信頼性が低下していた。

【0009】第3の問題点は、上記第2の問題点であるGaPの格子不整合が発光部にも悪影響を与えることである。上記-3.54%の格子不整合により転位が発生し、発光部である活性層やクラッド層等にも結晶欠陥が発生するなど、非発光再結合中心の発生要因となる。このため、半導体発光素子の発光効率が大幅に低下すると共に、信頼性についても大幅に低下していた。

【0010】本発明は、このような従来技術の課題を解決するためになされたものであり、発光効率および信頼性を大幅に改善することができる半導体発光素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造上に第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) からなる電流拡散層が設けられており、そのことにより上記目的が達成される。

【0012】前記電流拡散層のIn組成比 $x$ が $0 < x < 0.49$ にしてあるのが好ましい。

【0013】前記電流拡散層のIn組成比 $x$ が $0 < x < 0.27$ にしてあるのが好ましい。

【0014】本発明の半導体発光素子は、基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造上に、そのIn組成比 $x$ を層厚方向に向かって変化させた第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) からなる電流拡散層が設けられており、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】前記電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ が $0 < x < 0.49$ にしてあるのが好ましい。

【0016】前記電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ が $0 < x < 0.27$ にしてあるのが好ましい。

【0017】前記活性層が $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )、 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ )または $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ )からなっているがよい。

【0018】前記基板、前記半導体積層構造および前記電流拡散層を挟んで一对の電極が設けられ、該電流拡散層を間に挟んで該電流拡散層側の電極と対向するように、電流阻止層が設けられていてもよい。

【0019】前記電流拡散層側の電極が該電流拡散層の中央部上に設けられ、該電極の非形成部から光を取り出すようになっていてもよい。

【0020】前記電流拡散層側の電極が該電流拡散層の中央部上に張り囲むように設けられ、該電極の非形成部から光を取り出すようになっていてもよい。

【0021】前記電流阻止層が $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ )からなっているがよい。

【0022】前記電流阻止層がAlを含む化合物半導体からなっているがよい。

【0023】前記電流阻止層が $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ )または $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$ )からなっているがよい。

【0024】本発明の半導体発光素子の製造方法は、基板上に、第1導電型の第1クラッド層と活性層と第2導電型の第2クラッド層とを少なくとも含む半導体積層構造が設けられ、該半導体積層構造の上に一部重畳して第1導電型の電流阻止層が設けられ、該電流阻止層の形成部および非形成部にわたって第2導電型の $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ )からなる電流拡散層が設けられ、該電流拡散層の間に介し、かつ、該電流阻止層と対向するように一方の電極が設けられ、該基板側に他方の電極が設けられて、半導体発光素子を製造する方法であって、該基板上に該半導体積層構造を形成し、該半導体積層構造上にAlを含まない材料からなる保護層を間に介してAlを含む化合物半導体からなる電流阻止層形成用の層を形成する工程と、該電流阻止層形成用の層と該保護層とを選択的にエッチングして該半導体積層構造の上に一部重畳するように電流阻止層を残す工程とを含み、そのことにより上記目的が達成される。

【0025】前記エッチングの際に、前記電流阻止層が前記半導体積層構造の中央部上に残るようにエッチングを行ってもよい。

【0026】前記エッチングの際に、前記電流阻止層が前記半導体積層構造の中央部上を取り囲んで残るようにエッチングを行ってもよい。

【0027】前記電流阻止層として $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ )層または $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$ )層を形成してもよい。

【0028】以下、本発明の作用について説明する。

【0029】本発明にあつては、半導体積層構造上に設けられた $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ )電流拡散層により電流が広げられるので、活性層の広い範囲で発光が得られる。 $GaInP$ 電流拡散層には、P原子に比べて原子半径が大きいIn原子が含まれているので、その結晶成長途中でP原子が結晶中を移動しにくくなっており、結晶欠陥が生じにくい。また、 $GaInP$ は $GaAs$ 基板やその上に形成される半導体層との格子不整合が $GaP$ に比べて小さいため、電流拡散層自体に結晶欠陥が生じにくくすると共に、発光部である活性層やクラッド層等にも結晶欠陥が生じにくくなる。

【0030】この電流拡散層のIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.49$ とすると、 $GaInP$ 活性層や $AlGaInP$ 活性層から発光した光を吸収せずに透過させることができ、しかも $GaAs$ 基板やその上に形成される半導体層との格子不整合による結晶欠陥を低減することができる。

【0031】また、電流拡散層のIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.27$ とすると、そのバンドギャップが $GaP$ とほぼ同じになるため、発光部である活性層で発生した光が電流拡散層で吸収されず、光吸収による電流拡散層の劣化も生じない。

【0032】電流拡散層のIn組成比 $x$ を層厚方向に向かって徐々に変化させると、格子歪みを徐々に緩和して格子歪みを低減させることができる。

【0033】この電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.49$ とすると、 $GaInP$ 活性層や $AlGaInP$ 活性層から発光した光を吸収せずに透過させることができ、しかも $GaAs$ 基板やその上に形成される半導体層との格子不整合による結晶欠陥を低減することができる。

【0034】また、電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.27$ とすると、バンドギャップが $GaP$ とほぼ同じになるため、発光部である活性層で発生した光が電流拡散層で吸収されず、光吸収による電流拡散層の劣化も生じない。

【0035】活性層としては、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )、 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ )または $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ )等の化合物半導体を用いることができ、結晶欠陥が少ない発光部が得られる。

【0036】上記基板、半導体積層構造および電流拡散層を挟んで設けられる一对の電極のうちの電流拡散層側の電極と対向するように、電流拡散層を間に挟んで電流阻止層を設けると、電流拡散層において電流阻止層の非形成部に電流が導かれる。活性層の所望の領域に効率良く電流が導かれるので、その部分での発光効率が向上し、その発光部の上に電極が設けられていないので、電極非形成部からの光の取り出し効率が向上する。

【0037】例えば、電流拡散層側の電極を電流拡散層

の中央部に設けて、その電極に対向するように電流阻止層を設けると、活性層の周縁部に電流が導かれてその部分での発光効率が向上し、電極の非形成部である周縁部からの光の取り出し効率が向上する。

【0033】また、電流拡散層側の電極を電流拡散層の中央部上に取り囲むように設けて、その電極に対向するように電流阻止層を設けると、活性層の中央部に電流が導かれてその部分での発光効率が向上し、電極の非形成部である中央部からの光の取り出し効率が向上する。

【0034】この電流阻止層が $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ ) 層であれば、電流阻止層と $GaAs$ 基板やその上に形成される半導体層との格子不整合も小さくなり、結晶欠陥がさらに低減される。

【0041】また、電流阻止層として $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ ) や  $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$ ) 等の $Al$ を含む化合物半導体層を用いれば、半導体積層構造上に $Al$ を含まない材料からなる保護層を介して電流阻止層を形成することにより、保護層と電流阻止層とを選択的にエッチングして所望の領域に電流阻止層を配置することができる。

【0042】

【発明の実施形態】以下に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0043】（実施形態1）この実施形態1では、 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) 電流拡散層を設けた $AlGaInP$ 系半導体発光素子について説明する。

【0044】図1に、実施形態1の半導体発光素子の断面図を示す。

【0045】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、 $n$ 型 $GaAs$ 基板1上に $n$ 型 $GaAs$ （例えば $Si$ 濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ）バッファ層2が設けられ、その上に $n$ 型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.5, z=0.5$ 、 $Si$ 濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層3、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0, z=0.5$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) 活性層4および $p$ 型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.5, z=0.5$ 、 $Zn$ 濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層5からなる半導体積層構造12が設けられている。その上に $p$ 型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ 、例えば $x=0.40$ 、 $Zn$ 濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu m$ ) 電流拡散層6が設けられている。 $p$ 型電流拡散層6の中央部上には $p$ 型電極11が設けられ、 $n$ 型基板1側には上面に $n$ 型電極10が設けられている。

【0046】本実施形態の半導体発光素子においては、 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.55$ ) 電流拡散層6を用いているため、格子歪みを改善することができる。このことについて図2を参照しながら説明する。

【0047】図2は、 $Ga_{1-x}In_xP$ 中の $In$ 組成 $x$ と

$GaAs$ に対する格子不整合率との関係を示すグラフである。この図2からわかるように、 $Ga_{1-x}In_xP$ 中の $In$ 組成 $x=0.49$ のときに $GaAs$ と格子定数が一致して、格子不整合率が0となる。本実施形態では $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.40$ ) 電流拡散層6の格子不整合率が $-0.6\%$ となり、図13に示した従来の半導体発光素子における $GaP$ 電流拡散層の格子不整合率 $-3.54\%$ に比べて $83\%$ も格子歪みを改善することができた。

【0047】また、本実施形態の半導体発光素子においては、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $y=0, z=0.5$ ) 活性層4に対して $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.40$ ) 電流拡散層6を用いているため、活性層4で発生した光が電流拡散層6で吸収されない。このことについて図3を参照しながら説明する。

【0048】図3は、 $Ga_{1-x}In_xP$ 中の $In$ 組成 $x$ とバンドギャップ $E_g$ との関係を示すグラフである。この図3からわかるように、 $Ga_{1-x}In_xP$ 中の $In$ 組成比 $x$ が $0 < x \leq 0.27$ の場合には間接遷移である $X$ 遷移となるので $GaP$ のバンドギャップ $E_g=2.27 eV$ とほぼ同じバンドギャップであり、 $0.27 < x < 1$ の場合には直接遷移である $\Gamma$ 遷移となるので $GaP$ のバンドギャップよりも小さくなる。本実施形態では $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.40$ ) 電流拡散層6のバンドギャップ $E_g=2.0 eV$ であり、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $y=0, z=0.5$ ) 活性層4のバンドギャップ $E_g=1.9 eV$ に比べて大きいため、活性層4で発生した光は電流拡散層6で吸収されることなく、上面から取り出される。

【0049】このように本実施形態の半導体発光素子においては、電流拡散層6中の結晶欠陥が低減できると共に、発光部である活性層4等の転位による結晶欠陥を大幅に低減できるため、発光効率および信頼性を大幅に改善することができた。また、活性層4で発生した光が電流拡散層6で吸収されないため、発光効率が低下せず、光吸収による素子特性の劣化も生じなかった。素子特性については、波長 $650 nm$ の赤色発光ダイオードにおいて発光効率が従来より $20\%$ 向上し、信頼性についても、 $20 mA$ 駆動時 $60^\circ C$ 条件下において光度が半分になるまでの時間が $1.5$ 倍に増加した。

【0050】なお、本実施形態において、 $n$ 型クラッド層、活性層および $p$ 型クラッド層を構成する $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$ の組成比 $y$ および $z$ は適宜変更してもよい。このことは以下の実施形態でも同様である。また、半導体発光素子の構造は本実施形態および以下の実施形態に示したような発光ダイオードに限られず、 $GaAs$ 基板と格子整合する化合物半導体材料を用いた面発光型の半導体発光素子であれば、それ以外の構造を採用することも可能である。

【0051】（実施形態2）この実施形態2では、 $Ga$

$1-x$   $\text{In}_x\text{P}$  電流拡散層の  $\text{In}$  組成比  $x$  を実施形態 1 と異ならせた半導体発光素子について説明する。

【0052】図4に、実施形態2の半導体発光素子の断面図を示す。

【0053】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、 $n$ 型  $\text{GaAs}$  基板21上に $n$ 型  $\text{GaAs}$  (例えば  $\text{Si}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $0.5 \mu\text{m}$ ) バッファ層22が設けられ、その上に $n$ 型  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、 $\text{Si}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層23、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=0.45$ 、 $z=0.5$ 、厚み  $0.5 \mu\text{m}$ ) 活性層24および $p$ 型  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、 $\text{Zn}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層25からなる半導体積層構造212が設けられている。その上に $p$ 型  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $0 < x < 1$ 、例えば  $x=0.2$ 、 $\text{Zn}$  濃度  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $5.0 \mu\text{m}$ ) 電流拡散層26が設けられている。 $p$ 型電流拡散層26の中央部上には $p$ 型電極211が設けられ、 $n$ 型基板21側には全面に $n$ 型電極210が設けられている。

【0054】本実施形態においては、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $x=0.2$ ) 電流拡散層26を用いているため、図2に示すように格子不整合率が $-2.1\%$ となり、図13に示した従来の半導体発光素子における $\text{GaP}$ 電流拡散層の格子不整合率 $-3.54\%$ に比べて $40\%$ も格子歪みを改善することができた。

【0055】この格子歪み低減効果は実施形態1に比べて小さいものの、実施形態2では実施形態1に比べて電流拡散層のバンドギャップを大きくできる。本実施形態の半導体発光素子においては、図3に示すように、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $x=0.2$ ) 電流拡散層26のバンドギャップ  $E_g$  が  $\text{GaP}$  のバンドギャップとほぼ同じ  $2.27 \text{eV}$  であり、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $y=0.45$ 、 $z=0.5$ ) 活性層24のバンドギャップ  $E_g = 2.18 \text{eV}$  に比べて大きいので、活性層24で発生した緑色光についても電流拡散層26で吸収されることはなく、上面から取り出される。

【0056】このように本実施形態の半導体発光素子においては、電流拡散層26中の結晶欠陥が低減できるため、発光効率および信頼性を大幅に改善することができた。また、活性層24で発生した緑色光が電流拡散層26で吸収されないため、発光効率が低下せず、光吸収による素子特性の劣化も生じなかった。素子特性については、波長  $50 \text{nm}$  の緑色発光ダイオードにおいて発光効率が従来より  $30\%$  向上し、信頼性についても、 $20 \text{mA}$  駆動、 $30^\circ\text{C}$  条件下において光度が半分になるまでの時間が  $10$  倍に増加した。

【0057】(実施形態3) この実施形態3では、 $\text{Ga}$

$1-x$   $\text{In}_x\text{P}$  電流拡散層の  $\text{In}$  組成比  $x$  を実施形態1および実施形態2と異ならせた半導体発光素子について説明する。

【0058】図5に、実施形態3の半導体発光素子の断面図を示す。

【0059】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、 $n$ 型  $\text{GaAs}$  基板31上に $n$ 型  $\text{GaAs}$  (例えば  $\text{Si}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $0.5 \mu\text{m}$ ) バッファ層32が設けられ、その上に $n$ 型  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、 $\text{Si}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層33、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=0.30$ 、 $z=0.5$ 、厚み  $0.5 \mu\text{m}$ ) 活性層34および $p$ 型  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば  $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、 $\text{Zn}$  濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層35からなる半導体積層構造312が設けられている。その上に $p$ 型  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $0 < x < 1$ 、例えば  $x=0.01$ 、 $\text{Zn}$  濃度  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み  $5.0 \mu\text{m}$ ) 電流拡散層36が設けられている。 $p$ 型電流拡散層36の中央部上には $p$ 型電極311が設けられ、 $n$ 型基板31側には全面に $n$ 型電極310が設けられている。

【0060】本実施形態においては、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $x=0.1$ ) 電流拡散層36を用いているため、図2に示すように、図13に示した従来の半導体発光素子における $\text{GaP}$ 電流拡散層の格子不整合率 $-3.54\%$ に比べて殆ど改善できていない。しかし、本実施形態においては、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $x=0.1$ ) 電流拡散層36を用いたことにより $\text{GaP}$ 層に比べて結晶性を改善させることができた。このことについて以下に説明する。 $\text{GaP}$ 層はその結晶中で $\text{Ga}$ 原子と $\text{P}$ 原子の結合が強いので、 $\text{Ga}$ 原子が成長表面上を拡散 (マイグレーション) しにくく、良好な成長でなく島状成長となり、結晶欠陥が発生しやすい原因となっていた。これに対して、 $\text{In}$ 原子を少しでも含んだ $\text{GaInP}$ においては、結晶欠陥が大幅に低減する。このように結晶欠陥が低減するのは、 $\text{In}$ 原子は $\text{P}$ 原子と結合エネルギーが小さく、 $\text{In}$ 原子が成長表面を拡散 (マイグレーション) しやすく、それに伴い $\text{Ga}$ 原子も拡散し、良好な層状成長が得られ、結晶欠陥が低減して良好な結晶性が得られるためと考えられる。

【0061】また、本実施形態の半導体発光素子においては、図3に示すように、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $x=0.01$ ) 電流拡散層36のバンドギャップ  $E_g$  が  $\text{GaP}$  のバンドギャップとほぼ同じ  $2.27 \text{eV}$  であり、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $y=0.30$ 、 $z=0.5$ ) 活性層34のバンドギャップに比べて大きいので、活性層34で発生した黄色光についても電流拡散層36で吸収されることはなく、上面から取り出される。



【0066】このように本実施形態の半導体発光素子においては、電流拡散層36中の結晶欠陥が低減できるため、発光効率および信頼性を大幅に改善することができた。また、活性層34で発生した緑色光は電流拡散層36で吸収されないため発光効率が低下せず、光吸収による素子特性の劣化も生じなかった。素子特性については、波長390nmの黄色発光ダイオードにおいて発光効率が従来より20%向上し、信頼性についても、20mA駆動時30℃条件下において光度が半分になるまでの時間が1.5倍に増加した。

【0067】（実施形態4）この実施形態4では、 $Ga_{1-x}In_x$ 電流拡散層のIn組成比xを層厚方向に徐々に変化させた、活性層として $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ )を用いた半導体発光素子について説明する。

【0068】図6に、実施形態4の半導体発光素子の断面図を示す。

【0069】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板61上にn型GaAs（例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ）バッファ層62が設けられ、その上にn型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ , 例えば $y=0.5$ ,  $z=0.5$ , Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ )クラッド層63、 $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ , 例えば $q=0.6$ , 厚み $0.5 \mu m$ )活性層64およびp型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ , 例えば $y=0.5$ ,  $z=0.5$ , Zn濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ )クラッド層65からなる半導体積層構造612が設けられている。その上にp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ , 例えば $x=0.4 \rightarrow 0.2$ , Zn濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu m$ )電流拡散層66が設けられている。p型電流拡散層66の中央部上にはp型電極611が設けられ、n型基板61側には全面にn型電極610が設けられている。

【0070】本実施形態においては、 $Ga_{1-x}In_xP$ 電流拡散層66のIn組成比xを層厚方向に $0.4$ から $0.2$ まで徐々に変化させて成長させている。これにより格子歪みを徐々に低減させることができ、発光部に格子歪みが生じるのを改善することができた。

【0071】また、本実施形態の半導体発光素子においては、 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.4 \rightarrow 0.2$ )電流拡散層66のバンドギャップEgが $In_qGa_{1-q}As$  ( $q=0.6$ )活性層64のバンドギャップに比べて大きいため、活性層64で発生した赤外光が電流拡散層66で吸収されることはなく、上面から取り出される。

【0072】このように本実施形態の半導体発光素子においては、格子歪みを改善することができ、発光効率および信頼性を大幅に改善することができた。また、活性層64で発生した赤外光が電流拡散層66で吸収されないため、発光効率が低下せず、光吸収による素子特性の劣化も生じなかった。素子特性については、波長950

nmの赤外発光ダイオードにおいて発光効率が従来より30%向上し、信頼性についても、20mA駆動時60℃条件下において光度が半分になるまでの時間が1.8倍に増加した。

【0069】なお、本実施形態において、活性層を構成する $In_qGa_{1-q}As$ の組成比qは適宜変更してもよい。また、n型クラッド層およびp型クラッド層として $In_qGa_{1-q}As$  ( $0 \leq q \leq 1$ )層を用いても良い。

【0070】（実施形態5）この実施形態5では、 $Ga_{1-x}In_xP$ 電流拡散層のIn組成比xを層厚方向に徐々に変化させたAlGaAs系半導体発光素子について説明する。

【0071】図7に、実施形態5の半導体発光素子の断面図を示す。

【0072】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板71上にn型GaAs（例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ）バッファ層72が設けられ、その上にn型 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ , 例えば $p=0.7$ , Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ )クラッド層73、 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ , 例えば $p=0$ , 厚み $0.5 \mu m$ )活性層74およびp型 $Al_pGa_{1-p}As$  ( $0 \leq p \leq 1$ , 例えば $p=0.7$ , Zn濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ )クラッド層75からなる半導体積層構造712が設けられている。その上にp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ , 例えば $x=0.2 \rightarrow 0.01$ , Zn濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu m$ )電流拡散層76が設けられ、さらにその上にp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ , 例えば $x=0.01$ , Zn濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $2 \mu m$ )電流拡散層77が設けられている。電流拡散層77の中央部上にはp型電極711が設けられ、n型基板71側には全面にn型電極710が設けられている。

【0073】本実施形態においては、 $Ga_{1-x}In_xP$ 電流拡散層76のIn組成比xを層厚方向に $0.2$ から $0.01$ まで徐々に変化させて成長させている。これにより格子歪みを徐々に低減させることができ、発光部に格子歪みが生じるのを改善することができた。

【0074】また、本実施形態の半導体発光素子においては、 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $x=0.2 \rightarrow 0.01$ )電流拡散層76のバンドギャップEgが $Al_pGa_{1-p}As$  ( $p=0$ )活性層74のバンドギャップに比べて大きいため、活性層74で発生した赤外光が電流拡散層76で吸収されることはなく、上面から取り出される。

【0075】このように本実施形態の半導体発光素子においては、格子歪みを改善することができ、発光効率および信頼性を大幅に改善することができた。また、活性層74で発生した赤外光が電流拡散層76で吸収されないため、発光効率が低下せず、光吸収による素子特性の劣化も生じなかった。素子特性については、波長850nmの赤外発光ダイオードにおいて発光効率が従来より

10%向上し、信頼性についても、20mA駆動時60℃条件下において光度が半分になるまでの時間が1.3倍に増加した。

【0073】なお、本実施形態において、n型クラッド層、活性層およびp型クラッド層を構成する $Al_pGa_{1-p}As$ の組成比 $p$ は適宜変更してもよい。

【0077】(実施形態6) この実施形態6では、半導体積層構造の中央部に電流阻止層を設け、その上に $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) 電流拡散層を設けた $AlGaInP$ 系半導体発光素子について説明する。

【0078】図8に、実施形態6の半導体発光素子の断面図を示す。

【0079】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板81上にn型GaAs (例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) バッファ層82が設けられ、その上にn型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層83、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.15$ 、 $z=0.5$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) 活性層84およびp型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層85からなる半導体積層構造812が設けられている。その半導体積層構造812の中央部にn型 $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ 、例えば $a=0.2$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) 電流阻止層88が設けられ、その上に電流阻止層88の形成部および非形成部にわたってp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ 、例えば $x=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu m$ ) 電流拡散層86が設けられている。p型電流拡散層86の中央部上には電流阻止層88と対向するようにp型電極811が設けられ、n型基板81側には全面にn型電極810が設けられている。

【0080】本実施形態の半導体発光素子においては、半導体積層構造812の中央部上に電流阻止層88を設けてその上に電流拡散層86を設けているため、p型電極811から注入された電流が電流拡散層86で周縁部にさらに広げられ、p型電極811が形成されていない周縁部からの光の取り出し効率がさらに向上した。また、電流阻止層88としてp型 $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ ) を用いているため、電流拡散層86と同様に、格子歪みを低減して発光効率および信頼性を改善することができた。素子特性については、波長610nmの橙色発光ダイオードにおいて発光効率が従来より30%向上し、信頼性についても、20mA駆動時60℃条件下において光度が半分になるまでの時間が2.5倍に増加した。

【0081】なお、本実施形態では発光部の中央部に注

入される電流を阻止するために半導体積層構造の中央部上に電流阻止層を設けたが、半導体積層構造を基板の中央部に設けてその周囲を埋め込むように電流阻止層を設けてもよい。また、電流阻止層は基板と同じ導電型にしたが、絶縁性材料であってもよい。これらのことは後述する実施形態8でも同様である。

【0082】(実施形態7) この実施形態7では、半導体積層構造の中央部上を取り囲むように電流阻止層を設け、その上に $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) 電流拡散層を設けた $AlGaInP$ 系半導体発光素子について説明する。

【0083】図9に、実施形態7の半導体発光素子の断面図を示す。

【0084】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板91上にn型GaAs (例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) バッファ層92が設けられ、その上にn型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層93、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.4$ 、 $z=0.5$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) 活性層94およびp型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1.0$ 、 $z=0.5$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu m$ ) クラッド層95からなる半導体積層構造912が設けられている。その半導体積層構造912の中央部上を取り囲むようにn型 $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ 、例えば $a=0.2$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu m$ ) 電流阻止層98が設けられ、その上に電流阻止層98の形成部および非形成部にわたってp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ 、例えば $x=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu m$ ) 電流拡散層96が設けられている。その上に、p型電流拡散層96の中央部上を取り囲むように、かつ、電流阻止層98と対向するようにp型電極911が設けられ、n型基板91側には全面にn型電極910が設けられている。

【0085】本実施形態の半導体発光素子においては、半導体積層構造912の中央部上を取り囲むように電流阻止層98を設けてその上に電流拡散層96を設けているため、p型電極911から注入された電流が電流拡散層96で中央部に集中し、p型電極911が形成されていない中央部からの光の取り出し効率がさらに向上した。また、電流阻止層98としてp型 $Ga_{1-a}In_aP$  ( $0 < a < 1$ ) を用いているため、電流拡散層96と同様に、格子歪みを低減して発光効率および信頼性を改善することができた。素子特性については、波長550nmの緑色発光ダイオードにおいて発光効率が従来より35%向上し、信頼性についても、20mA駆動時60℃条件下において光度が半分になるまでの時間が2.7倍

に増加した。

【0086】なお、本実施形態では発光部の周縁部に注入される電流を阻止するために半導体積層構造の中央部上を取り囲むように電流阻止層を設けたが、半導体積層構造を基板の中央部上を取り囲むように設けてその中を埋め込むように電流阻止層を設けてもよい。また、電流阻止層は基板と同じ導電型にしたが、絶縁性材料であってもよい。これらのことは後述する実施形態9でも同様である。

【0087】（実施形態8）この実施形態8では、半導体積層構造の中央部上にAlを含む化合物半導体、例えば $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1$ ,  $0 \leq d \leq 1$ ) からなる電流阻止層を設け、その上に $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) 電流拡散層を設けたAlGaInP系半導体発光素子について説明する。

【0088】図10(c)に、実施形態8の半導体発光素子の断面図を示す。

【0089】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板101上にn型GaAs（例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ）バッファ層102が設けられ、その上にn型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1$ ,  $0$ ,  $z=0.5$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層103、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.45$ ,  $z=0.5$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ) 活性層104およびp型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1$ ,  $0$ ,  $z=0.5$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層105からなる半導体積層構造1012が設けられている。その半導体積層構造1012の上にp型 $Ga_{1-r}In_rP$  ( $0 < r < 1$ 、例えば $r=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ) 保護層109が設けられ、その中央部上にn型 $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $0 \leq c \leq 1$ ,  $0 \leq d \leq 1$ 、例えば $c=0.2$ ,  $d=0.5$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ) 電流阻止層108が設けられている。さらにその上に電流阻止層108の形成部および発光形成部にわたってp型 $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ 、例えば $x=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu\text{m}$ ) 電流拡散層106が設けられている。p型電流拡散層106の中央部上には電流阻止層108と対向するようにp型電極1011が設けられ、n型基板101側には全面にn型電極1010が設けられている。

【0090】この半導体発光素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0091】まず、図10(a)に示すように、n型GaAs基板101上にn型GaAsバッファ層102、n型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  クラッド層103、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  活性層104、p型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  クラッド層105、p型 $Ga_{1-r}In_rP$  保護層109およびn型 $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  からなる電流阻止層形成用の層108aを順次積層成長させる。

【0092】次に、図10(b)に示すように、電流阻止層形成用の層を保護層109の中央部上のみを残してエッチングすることにより電流阻止層108を形成する。このとき、エッチング速度にAl依存性を有するエッチャント、例えばリン酸( $H_3PO_4$ )系エッチャント等を使用することにより、Alを含む化合物半導体からなる電流阻止層形成用の層108aとAlを含まない材料からなる保護層109との選択エッチングが可能となり、保護層109でエッチングを停止させることができる。

【0093】その後、図10(c)に示すように、p型 $Ga_{1-x}In_xP$  電流拡散層106を成長させ、n型電極1010およびp型電極1011を形成することにより半導体発光素子が完成する。

【0094】本実施形態の半導体発光素子においては、電流阻止層108がAlを含む $(Al_cGa_{1-c})_dIn_{1-d}P$  ( $c=0.2$ ,  $d=0.5$ ) からなるため、Alを含まない $Ga_{1-r}In_rP$  ( $r=0.2$ ) 保護層109との選択エッチングを行って、製造プロセスにおける歩留りを大幅に向上させると共に、コストを大幅に低減させることができた。

【0095】（実施形態9）この実施形態9では、半導体積層構造の中央部上を取り囲むようにAlを含む化合物半導体、例えば $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ ) からなる電流阻止層を設け、その上に $Ga_{1-x}In_xP$  ( $0 < x < 1$ ) 電流拡散層を設けたAlGaInP系半導体発光素子について説明する。

【0096】図11(c)に、実施形態9の半導体発光素子の断面図を示す。

【0097】この半導体発光素子は発光ダイオードであり、n型GaAs基板111上にn型GaAs（例えばSi濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ）バッファ層112が設けられ、その上にn型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1$ ,  $0$ ,  $z=0.5$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層113、 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=0.4$ ,  $z=0.5$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ) 活性層114およびp型 $(Al_yGa_{1-y})_zIn_{1-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ 、例えば $y=1$ ,  $0$ ,  $z=0.5$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $1.0 \mu\text{m}$ ) クラッド層115からなる半導体積層構造1112が設けられている。その半導体積層構造1112の上にp型 $Ga_{1-r}In_rP$  ( $0 < r < 1$ 、例えば $r=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ) 保護層119が設けられ、その中央部上を取り囲むようにn型 $Al_bGa_{1-b}As$  ( $0 \leq b \leq 1$ 、例えば

$b=0.2$ 、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $0.5 \mu\text{m}$ ）電流阻止層118が設けられている。さらにその上に電流阻止層118の形成部および非形成部にわたってp型 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$  ( $0 < x < 1$ 、例えば $x=0.2$ 、Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚み $5.0 \mu\text{m}$ )電流拡散層116が設けられている。その上にp型電流拡散層116の中央部上を取り囲むように、かつ、電流阻止層118と対向するようにp型電極1111が設けられ、n型基板110側には全面にn型電極1110が設けられている。

【0091】この半導体発光素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0092】まず、図11(a)に示すように、n型GaAs基板111上にn型GaAsバッファ層112、n型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$ クラッド層113、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$ 活性層114、p型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$ クラッド層115、p型 $\text{Ga}_{1-r}\text{In}_r\text{P}$ 保護層119およびn型 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{As}$ からなる電流阻止層形成用の層118aを順次積層成長させる。

【0101】次に、図11(b)に示すように、電流阻止層形成用の層を保護層119の中央部上を取り囲むように残してエッチングすることにより電流阻止層118を形成する。このとき、エッチング速度にAl依存性を有するエッチャント、例えばリン酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )系エッチャントを使用することにより、実施形態8と同様に、Alを含む化合物半導体からなる電流阻止層形成用の層118aとAlを含まない材料からなる保護層119との選択エッチングが可能となり、保護層119でエッチングを停止させることができる。

【0102】その後、図11(c)に示すように、p型 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$ 電流拡散層116を成長させ、n型電極1110およびp型電極1111を形成することにより半導体発光素子が完成する。

【0103】本実施形態の半導体発光素子においては、電流阻止層118がAlを含む $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{As}$  ( $b=0.2$ )となるため、Alを含まない $\text{Ga}_{1-r}\text{In}_r\text{P}$  ( $r=0.2$ )保護層119との選択エッチングを行って、製造プロセスにおける歩留りを大幅に向上させると共に、コストを大幅に低減させることができた。

【0104】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、電流拡散層の格子歪みを改善することができるので、電流拡散層の結晶欠陥を低減すると共に活性層等の発光部における結晶欠陥の発生を防ぐことができ、発光効率および信頼性を大幅に改善させることができる。

【0105】この電流拡散層のIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.49$ とすることにより、GaInP層またはAlGaInP層から発光した光を吸収せずに透過させることができ、しかも電流拡散層の結晶欠陥を低減することが

できるので、さらに発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0105】また、電流拡散層のIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.27$ とすることにより、電流拡散層での光吸収が生じず、しかも電流拡散層の結晶性が改善されるため、さらに発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0106】電流拡散層のIn組成比 $x$ を層厚方向に向かって徐々に変化させることにより、格子歪みが徐々に緩和されるので、さらに格子歪みを低減させて発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0107】この電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.49$ とすることにより、GaInP層またはAlGaInP層から発光した光を吸収せずに透過させることができ、しかも電流拡散層の結晶欠陥を低減することができるので、さらに発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0108】また、電流拡散層の変化させたIn組成比 $x$ を $0 < x < 0.27$ とすることにより、電流拡散層での光吸収が生じず、しかも電流拡散層の結晶性が改善されるため、さらに発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0109】この電流拡散層は、 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_z\text{In}_{1-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )、 $\text{Al}_p\text{Ga}_{1-p}\text{As}$  ( $0 \leq p \leq 1$ )、 $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{As}$  ( $0 \leq q \leq 1$ )等の発光部を備えた半導体発光素子に用いれば、結晶欠陥が無い発光部が得られ、発光効率を向上させることができる。

【0110】電流拡散層側の電極と対向するように、電流拡散層を間に挟んで電流阻止層を設ければ、電流拡散層により電流阻止層の非形成部に効率良く電流を導いて発光効率を高めると共に、電極非形成部からの光の取り出し効率を高めることができる。

【0111】例えば、電流拡散層側の電極を電流拡散層の中央部上に設けて、その電極に対向するように電流阻止層を設けると、電極の非形成部である周縁部からの光の取り出し効率が向上する。

【0112】また、電流拡散層側の電極を電流拡散層の中央部上を取り囲むように設けて、その電極に対向するように電流阻止層を設けると、電極の非形成部である中央部からの光の取り出し効率が向上する。

【0113】電流阻止層として $\text{Ga}_{1-a}\text{In}_a\text{P}$  ( $0 < a < 1$ )層を用いることにより、電流阻止層の格子歪みも改善されるので、発光効率および信頼性を向上させることができる。

【0114】また、電流阻止層として $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{As}$  ( $0 \leq b \leq 1$ )や $(\text{Al}_c\text{Ga}_{1-c})_d\text{In}_{1-d}\text{P}$  ( $0 \leq c \leq 1$ ,  $0 \leq d \leq 1$ )等のAlを含む化合物半導体を用いることにより、選択エッチングを行って所望の領域に電流阻止層を形成することができるので、製造プロセスの

歩留りを大幅に向上させると共にコストを大幅に低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1の半導体発光素子の断面図である。

【図2】 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$ 中のIn組成 $x$ と $\text{GaAs}$ に対する格子不整合率との関係を示すグラフである。

【図3】 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$ 中のIn組成 $x$ とバンドギャップ $E_g$ との関係を示すグラフである。

【図4】実施形態2の半導体発光素子の断面図である。

【図5】実施形態3の半導体発光素子の断面図である。

【図6】実施形態4の半導体発光素子の断面図である。

【図7】実施形態5の半導体発光素子の断面図である。

【図8】実施形態6の半導体発光素子の断面図である。

【図9】実施形態7の半導体発光素子の断面図である。

【図10】実施形態8の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図11】実施形態9の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図12】従来の半導体発光素子の断面図である。

【図13】従来の半導体発光素子の断面図である。

【符号の説明】

1、21、31、61、71、81、91、101、1

11 基板

2、22、32、62、72、82、92、102、1

12 バッファ層

3、23、33、63、73、83、93、103、1

13 n型クラッド層

4、24、34、64、74、84、94、104、1

14 活性層

5、25、35、65、75、85、95、105、1

15 p型クラッド層

6、26、36、66、76、86、96、106、1

16 電流拡散層

10、210、310、610、710、810、91

0、1010、1110 n型電極

11、211、311、611、711、811、91

1、1011、1111 p型電極

12、212、312、612、712、812、91

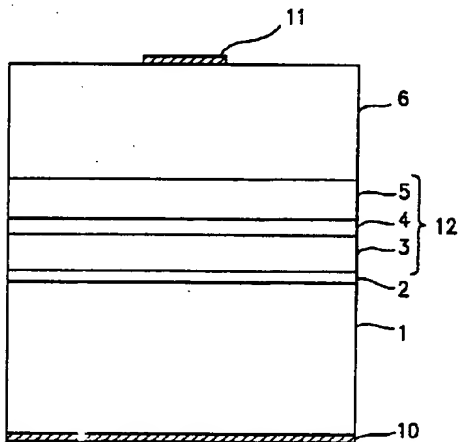
2、1012、1112 半導体積層構造

77 電流拡散層

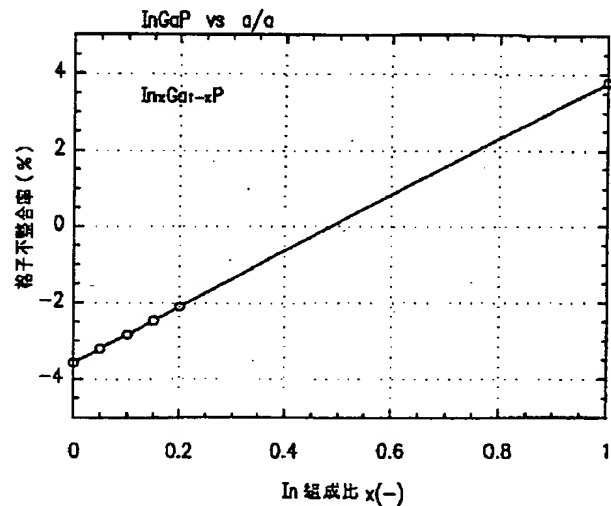
88、98、108、118 電流阻止層

109、119 保護層

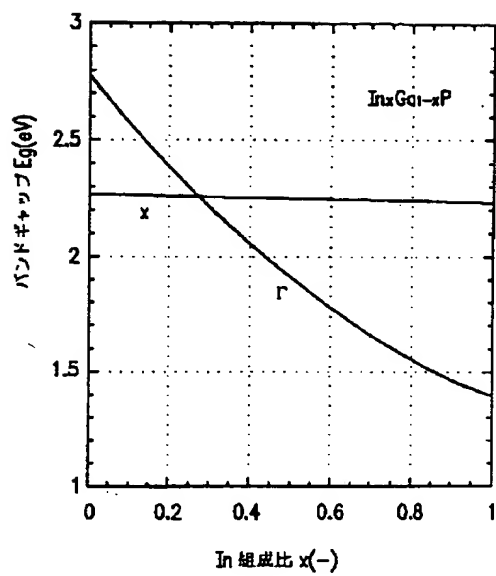
【図1】



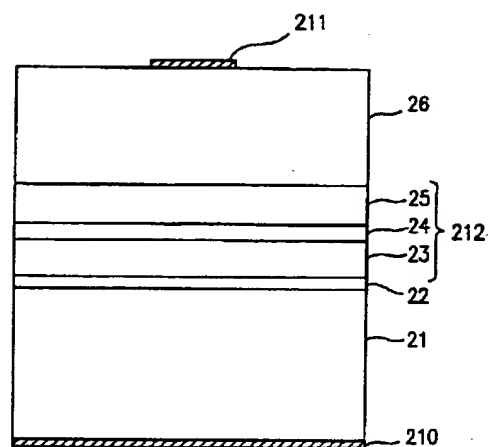
【図2】



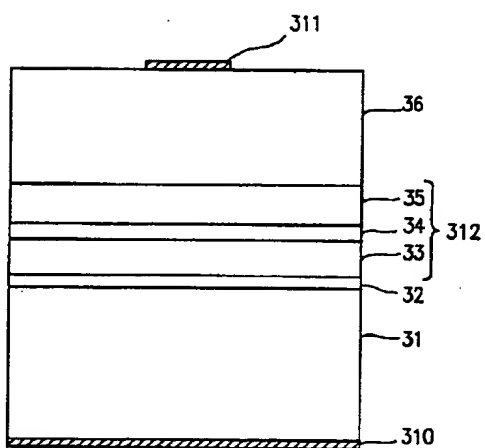
【図3】



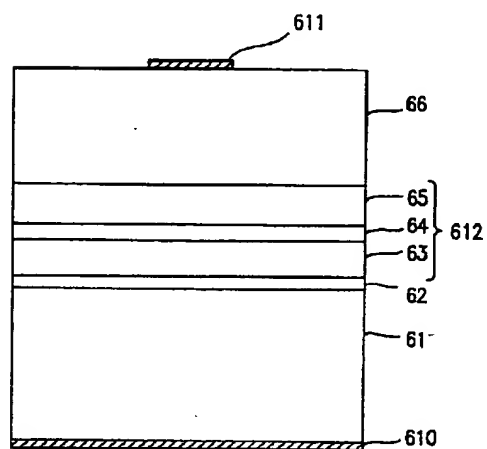
【図4】



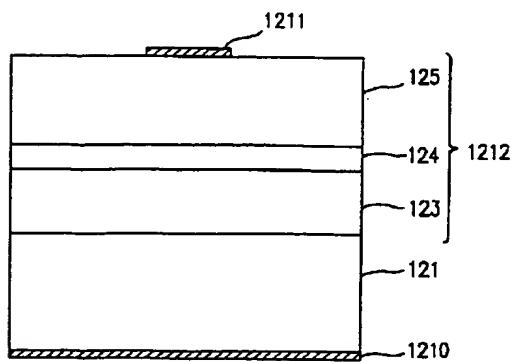
【図5】



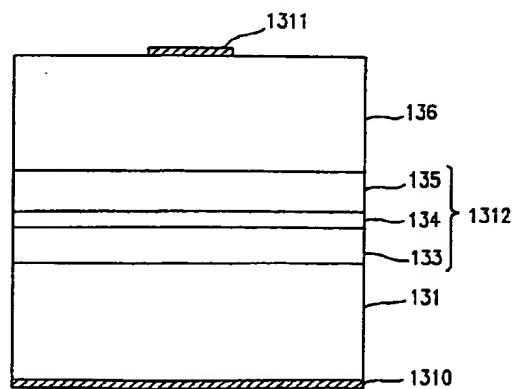
【図6】



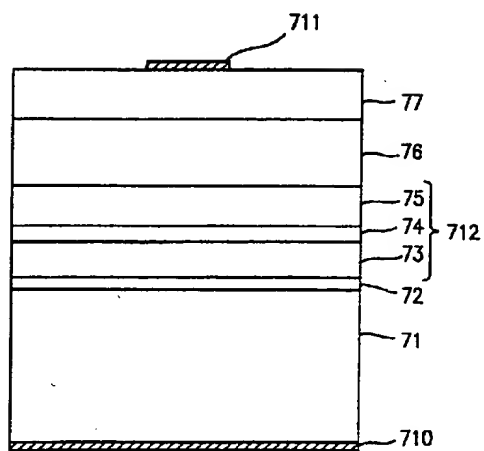
【図12】



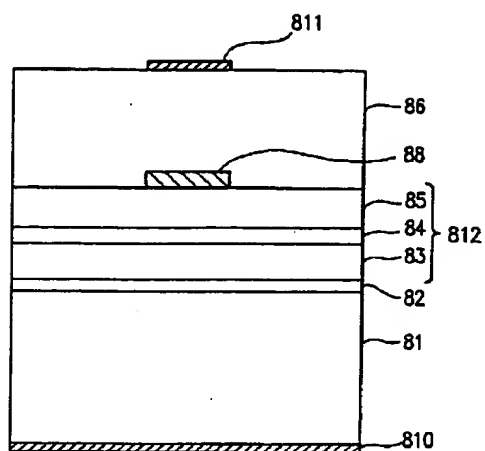
【図13】



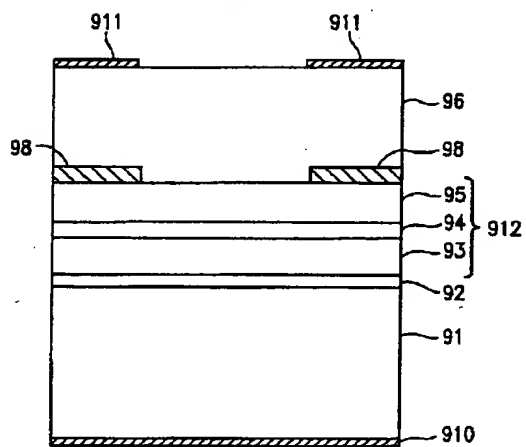
【図 7】



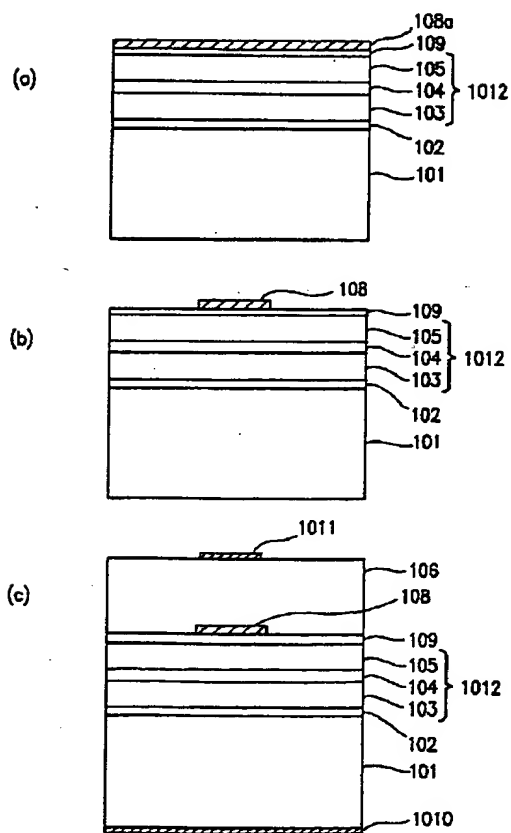
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図11】

